

Indi

Transforming **U**nsustainable
management of soils in key
agricultural systems in EU and China

Developing an **i**ntegrated platform of
alternatives to reverse soil degradation

改善土壤结构，保蓄
土壤水分



This project receives funding from the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation action under grant agreement No 101000224.

简述

土壤结构是指土壤颗粒的排列与组合形式。土壤中水分的存储和流动高度依赖于土壤结构，这是因为土壤结构很大程度上决定了土壤孔隙度。土壤结构的稳定性和水分运移特征，以及孔隙连通性，决定了土壤入渗能力、控制着产流量。土壤结构、水文物理性质、内部孔隙网络与土壤退化过程间存在高度相关性。这种关联性是复杂的、多因素的，人们目前对此尚不完全清楚。

适用区域

土壤结构退化是一个世界性问题，影响着地球不同气候区的生态系统和人类生计。可持续的土地管理措施有助于缓解这些影响。尽管不同的气候条件、土壤类型、土地利用和农业措施等会导致其退化原因、严重程度和表现形式不同，但是不同气候带土壤结构退化均会发生。对耕作区而言，重型机械的使用通常会导致土壤破碎，最终导致表层土壤结构非团聚化及底层土壤压实。干旱条



件下，结构被破坏的土壤表面很容易遭受风蚀。

退化原因识别

土壤结构是否退化，可以通过土壤结构稳定性评价来判定。具体评价可以通

过中欧TUdi项目发布的土壤结构APP (dev-tudi.web.app) 进行。

保护性策略描述

改善土壤结构是促进植物健康生长、增强根系发育、增加土壤持水能力的关键。土壤结构，指土壤粉粒、砂粒、粘粒和有机胶合为大的团聚体。结构良好的土壤允许气、水可以自由流动，根系可以自由生长，结构不良的土壤（如压实或过于砂质的土壤）会抑制植物生长。

对于砂土和壤砂土，因细颗粒如粘粒

含量太小，故通常是无结构的单颗粒外观，不能支持形成良好的土壤结构。其孔隙度的主要特点是孔隙直径大，因此降水入渗快，但对植物的水分有效性低。

对于重粘土，一年中有利于土壤耕作的土壤条件较短。在过干和过湿的土壤条件下耕作，都会破坏土壤结构。对过干的粘土土壤，耕作会导致地表出现一指

宽的裂缝，一定程度上有利于降水深层补给，但干旱时会导致深层土壤干燥化。由于粘土含量非常高，粘土颗粒表面强吸附水的比例很高，故干旱时植物的有效水含量就非常低。

壤土的粒径大小分布就比较均衡。一方面，比表面积很大的粘粒有助于形成土壤团聚体（常见团粒状、块状或其过渡形状），另一方面，砂质颗粒则有利于保持土壤疏松。没有明显限制（如缺乏有机质，或由于机械碾压造成的土壤压实）条件下，良好的土壤结构可以形成并提供（与其他质地土壤相比）最多的植物有效水分。

极端化学性质会破坏土壤结构。强酸或强碱性条件，都会导致土壤结构恶化。土层的化学条件影响结构稳定性，决定着植物的生长状况。强酸条件下，Ca离子的缺乏会导致土壤结构弱化，强碱条件下（如Solonetz土壤），胶体（粘土）表面Na离子的存在，会导致亚表层柱状结构的发育，并伴随结构单元的分解（如果潮湿，则表面呈肥皂泡状）。

长时间积水，可能是由于自然（地形低洼）或人为原因（例如耕地下的犁底层压实）造成的。适当排水可以防止土壤



图2：壤土中发育良好的次棱状结构（黑钙土）。

因水而退化，有利于维持土壤结构。

改善土壤结构，需要长期的土壤管理实践。改善土壤结构的最常见做法，包括增加土壤有机质含量、进行土壤覆盖、减少导致土壤板结的耕作以及促进土壤生物活动。某些情况下，例如在排水不良的土壤（如粘土）中，加入沙子、珍珠岩、泥炭或其他有利于排水的材料，可疏松土壤，促进根系生长，良好的根系进一步松动压实的土层，改善空气和水分的流动，达到改善土壤结构的长远目的。



图1：表土层壤土的团粒结构（黑钙土）。



图3：粘土（Solonetz）的柱状结构。



图4：土壤团聚体稳定性试验结果（见TUdi DSTapp），使用滤网、玻璃杯和水。土壤结构的稳定性从左到右降低。

技术的优缺点、实施的障碍

改善土壤结构的基本做法，是加入有机材料，如植物残体、覆盖物、堆肥和生草等，有助于形成稳定的团聚体。应当

注意的是，当直接在厚厚的覆盖土层播种时，要确保种子与土壤有良好的接触。

效果

添加有机物，如成熟堆肥或动物粪便（如牛粪、马粪），可以改善土壤通气、保水，促进有益微生物生长，增加养分，增强土壤团聚性。绿肥是能够种植并翻耕到土壤中的植物，可以增加土壤中的有机质含量，防止土壤侵蚀。土壤表层覆盖可以增强土壤保水，减少侵蚀，同时逐渐分解并改善土壤结构。

在集约耕作和使用重型机械条件下，耕作会破坏土壤团聚体，压实深层土壤（如板状结构的犁），导致水分入渗差，排水受限，表层积水。减少耕作，避免

使用重型机械，尤其是在湿土上，可以防止土壤压实，保持自然土壤结构。

在土壤表层施用有机覆盖物（如木屑、秸秆），有助于保持水分，降低极端温度，逐渐增加土壤中的有机质。草类覆盖，有助于保护土壤免受侵蚀，防止养分流失，其根系在土壤中生长开来，保持土壤结构。活的根系释放有机化合物，如多糖和蛋白质，它们作为粘合剂，帮助土壤颗粒黏在一起形成团聚体。这两种措施还能促进土壤中微型和中型动物的生长。

参考文献

Peplau et al 2024. DOI: [10.1111/ejss.13549](https://doi.org/10.1111/ejss.13549)

Tobiasová et al. 2023. DOI: [10.3390/su151411047](https://doi.org/10.3390/su151411047)

总结

土壤结构主要受土壤固体小颗粒如何聚集成较大团块（即土壤团聚体）的影响。土壤有机质含量和耕作措施也对土壤结构亦有较大影响。土壤结构控制着土壤孔隙大小分布，透气性和持水能力。土壤团聚体的大小和稳定性决定着土壤结构对不同土壤水分条件的抵抗力。土壤结构不良的后果是土壤持水能力下降，这意味着土壤向植物供给水分的能力降低。

土壤修复措施，如增加土壤有机物防止退化（掺入作物残体、土壤覆盖、生草种植等），可以促进土壤生物（如进行可持续的作物轮作、施用有机肥等），以及减少机械压实（如非反转翻耕、免耕、规划或控制使用重型机械频率等），有助于保持和改善土壤结构。改善的土壤结构能为植物生长创造更有利的条件，改善土壤保水能力并降低表面土壤侵蚀。

总结表

	评级	评论
土壤整体健康程度	***	
水平衡	**	
土壤结构	***	
侵蚀力	**	
养分平衡	***	
土壤生物	*	
可操作性	-	
经济性	-	



Consortium

Agrisat; Beijing Forestry University; Beijing Normal University; Centre for Agricultural Research; China Agricultural University; Czech Technical University in Prague; Lincoln University; New Bulgarian University; Northwest A&F University; Northwest UNIVERSITY; Pensoft Publishers; Spanish National Research Council; University of Lancaster; BOKU University, Vienna; University of Turin; Federal Agency for Water Management, Austria

Project coordinator

José A. Gómez

Institute of Sustainable Agriculture of the Spanish Council for Scientific Research
joseagomez@ias.csic.es

Duration

July 2021 – June 2025

Follow TUdi

 @Project_TUdi

 TUdi Project

 TUdi Horizon 2020

 tudi-project.org